

EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI RASIO SUDU BERPENAMPANG DATAR TERHADAP DAYA DAN EFISIENSI TURBIN REAKSI *CROSSFLOW* POROS HORIZONTAL

Muhammad Wahdani Insanto

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

e-mail: muhammadinsanto@mhs.unesa.ac.id

Priyo Heru Adiwibowo

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

e-mail: priyoheruadiwibowo@unesa.ac.id

Abstrak

Krisis energi listrik yang melanda dunia khususnya Indonesia saat ini semakin meningkat. Sumber energi listrik yang digunakan saat ini berasal dari PLN yang mayoritas dihasilkan dan diperoleh dari pembangkit - pembangkit listrik yang masih menggunakan batu bara, minyak bumi, dan gas. Turbin air adalah salah satu alat yang dapat mengkonversi energi yang dimiliki air dan mengubahnya menjadi energi gerak sehingga menghasilkan listrik, namun daya yang dihasilkan turbin *crossflow* cenderung rendah sehingga perlu adanya pengembangan pada turbin *crossflow* dengan menggunakan variasi rasio sudu berpenampang datar. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan memvariasikan rasio sudu berpenampang datar pada turbin *crossflow* poros horizontal. Rasio yang digunakan adalah 13/16, 14/16 dan 15/16 yang akan diuji dengan variasi kapasitas air sebesar 12.58 L/s, 11.01 L/s, dan 8.84 L/s dan variasi pembebanan 500 gram, 1000 gram, 1500 gram, dan seterusnya dengan peningkatan pembebanan 500 gram hingga putaran turbin berhenti. Hasil dari penelitian didapatkan turbin dengan rasio 15/16 memiliki daya dan efisiensi yang paling optimal daripada turbin dengan rasio 13/16 dan 14/16. Daya tertinggi dimiliki oleh turbin dengan rasio 15/16 yang terjadi pada kapasitas 12.58 L/s dengan pembebanan 8000 gram, memiliki daya sebesar 3,136 Watt. Efisiensi tertinggi juga dihasilkan oleh rasio 15/16 pada kapasitas 12.58 L/s dengan pembebanan 8000 gram dengan nilai efisiensi sebesar 58,21%. Hal ini dikarenakan pada rasio 15/16 turbin mampu memanfaatkan aliran air dengan baik dan jarak antar lebar turbin dan lebar saluran semakin sempit maka luasan aliran air yang ditampung sudu semakin besar sehingga mampu menghasilkan rpm tinggi serta torsi yang besar, selain itu lebar turbin juga memiliki pengaruh karena semakin lebar turbin maka aliran air yang menuju rongga bilas semakin banyak sehingga kerja dari turbin menjadi lebih berat dan membutuhkan daya yang besar untuk memulai menggerakkan turbin.

Kata kunci: *Crossflow*, Daya, Efisiensi, Rasio, Turbin.

Abstract

Power crisis that swept the world, especially Indonesia is increasing. Source of electrical energy used today comes from the majority PLN generated and derived from plants - power plants that still use coal, oil, and gas. Water turbine is one tool that can convert energy that has the water and convert it into mechanical energy to generate electricity, but the power generated crossflow turbine tends to be low so that the need for the development of the crossflow turbine blade using ratio variation of flat blade. This study used an experimental method by varying the ratio blade flat on the horizontal axis crossflow turbine. The ratio used is a 13/16, 14/16 and 15/16 to be tested with a variety of water capacity of 12,58 L / s, 11,01 L / s, and 8,84 L / s and load variations 500 g, 1000 g, 1500 g, and so with increased loading of 500 grams to a turbine wheel stops. Results of the research showed turbine with a ratio of 15/16 has the most power and optimal efficiency than turbines with a ratio of 13/16 and 14/16. The highest power possessed by the turbine with a 15/16 ratio that occurred at 12,58 capacity L / s with a load of 8000 grams, has a power of 3.136 Watt. The highest efficiency is also generated by the capacity ratio of 15/16 at 12,58 L / s with a load of 8000 grams with the efficiency of 58.21%. This is because the ratio of 15/16 turbine capable of utilizing water flows well and the distance between the turbine and the width of the channel width of the narrower the area of water flow greater blade accommodated so as to produce a high rpm and high torque.

Keywords: *Crossflow*, Power, Efficiency, Ratio, Turbine.

PENDAHULUAN

Krisis energi listrik yang melanda dunia khususnya Indonesia saat ini semakin meningkat. Menurut Neraca Energi Indonesia yang dikeluarkan oleh Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2017, konsumsi energi listrik Indonesia pada tahun 2016 mencapai 216.004 GWh. Sumber energi listrik yang digunakan

saat ini berasal dari PLN yang mayoritas dihasilkan dan diperoleh dari pembangkit pembangkit listrik yang masih menggunakan batu bara, minyak bumi, dan gas. Menurut Neraca Energi Indonesia yang dikeluarkan oleh Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2017, konsumsi batu bara untuk mensuplai kebutuhan pembangkit listrik di Indonesia pada tahun

2016 mencapai 73.796.447 ton, konsumsi minyak solar untuk mensuplai kebutuhan pembangkit listrik di Indonesia pada tahun 2016 mencapai 3.742.209 kilo liter, konsumsi gas alam untuk mensuplai kebutuhan pembangkit listrik di Indonesia pada tahun 2016 mencapai 505.125 million standart cubic feet day. Hal ini mengakibatkan semakin langkanya sumber daya tersebut mengingat sumber daya batu bara, minyak bumi, dan gas membutuhkan waktu yang cukup lama untuk dapat diperbarui melalui proses alam, sedangkan masih banyak sumber energi yang dapat diperbarui dan dijumpai di Indonesia seperti air, angin, sinar matahari, dan panas bumi. Menurut data Dirjen Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (ESDM) pada tahun 2011 Indonesia memiliki potensi Energi Baru Terbarukan (EBT) lebih dari 158,288 MW. Sedangkan Tenaga air merupakan jenis energi terbarukan yang memiliki potensi terbesar dibandingkan dengan sumber –sumber energy terbarukan lainnya. Potensi tenaga air di Indonesia mencapai 75,861 MW. Tenaga air yang dapat dimanfaatkan untuk pembangkit listrik dapat digolongkan menjadi dua, yaitu pembangkit listrik tenaga air dan pembangkit listrik tenaga mikro hidro.

Menurut Jurnal Energi yang dikeluarkan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) pada tahun 2016, Indonesia mempunyai potensi mengembangkan energi baru terbarukan yaitu energi bayu (angin) sebesar 950 MegaWatt, tenaga surya sebesar 11 GigaWatt, tenaga air sebesar 75 GigaWatt, energi biomassa 32 MegaWatt, biofuel sebesar 32 MegaWatt, potensi energi laut sebesar 60 GigaWatt, dan panas bumi (Geothermal) sebesar 29 GigaWatt.

Dilihat dari keadaan geografisnya daerah - daerah di wilayah Indonesia banyak dijumpai sungai kecil dan saluran irigasi yang memiliki potensi yang memadai untuk sebuah pembangkit tenaga listrik berskala kecil, maka dengan kondisi tersebut banyak dikembangkan teknologi pembangkit – pembangkit yang berskala kecil yang biasa dikenal dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH).

Agus Rohermanto (2007) dalam penelitiannya tentang Pembangkit Listrik Mikro Hidro (PLTMH), PLTMH secara bahasa dapat diartikan mikro adalah kecil dan hydro adalah air, maka mikrohidro adalah Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) berskala kecil. Pembangkit tenaga listrik ini memanfaatkan aliran irigasi atau aliran sungai sebagai sumber tenaga untuk menggerakkan turbin dan memutar generator. Pada prinsipnya air mengalir dengan ketinggian 2,5 meter dengan debit 250 liter/detik, maka disitu ada energi listrik. Selain itu mikrohidro tidak perlu membuat waduk yang besar seperti PLTA.

Menurut Jurnal Energi yang dikeluarkan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) pada tahun 2016, Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) pada tahun 2015 dapat memasok kebutuhan energi listrik sebesar 0,3 GigaWatt dan ini dapat terus meningkat untuk memenuhi peningkatan energi listrik di Indonesia.

Energi baru terbarukan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) ini dapat menjadi solusi.

Turbin Cross-Flow adalah salah satu turbin air dari jenis turbin aksi (impulse turbine). Prinsip kerja turbin ini mula-mula ditemukan oleh seorang insinyur Australia yang bernama A.G.M. Michell pada tahun 1903. Kemudian turbin ini dikembangkan dan dipatenkan di Jerman Barat oleh Prof. Donat Banki sehingga turbin ini diberi nama Turbin Banki kadang disebut juga Turbin Michell-Ossberger (Haimeri, L.A., 1960).

Penelitian Yasinta Sindy Pramesti (2018) yang berjudul “Analisa pengaruh sudut sudu terhadap kerja turbin kinetik poros horizontal dan vertikal”. Variasi sudut pengaruh aliran dengan sudut 5°, 10°, 15° dan variasi debit aliran 50, 70, dan 90 m³/jam. Selain itu, turbin kinetik ini menggunakan variasi poros vertikal dan horizontal. Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa daya output yang dihasilkan turbin maksimal sebesar 1,53 Watt terjadi pada debit 90 m³/jam dengan sudut pengaruh aliran 15°. Efisiensi tertinggi yaitu sebesar 18% terjadi pada debit aliran 50 m³/jam dengan sudut pengaruh aliran sebesar 15°. Turbin dengan tipe poros horizontal memiliki nilai daya dan efisiensi yang sedikit lebih besar jika dibandingkan dengan turbin poros vertikal.

Penelitian oleh Yesung Allo Padang, dkk (2014) yang berjudul “Analisa Variasi Jumlah Sudu Berengsel Terhadap Unjuk Kerja Turbin Crossflow Zero Head” didapatkan bahwa dengan menggunakan variasi jumlah sudu 4, 6, 12 dan pergerakan sudu berengsel dan sudu tetap menunjukkan hasil penelitian unjuk kerja turbin terbaik diperoleh saat jumlah sudu 12 dengan gerakan sudu tetap dan efisiensi sistem yang terbaik sebesar 0,47% diperoleh pada kecepatan putar generator sebesar 89,9 rpm dan energi output generator sebesar 29,25 Watt.

Pada tahun 2015, Kosjoko. Melakukan penelitian dengan judul “Crossflow As Turbine Power Plant Minihidro (PLTM) Village To Self Energy” dijelaskan bahwa runner dengan variasi jumlah sudu 12, 10, dan 8 buah dengan kecepatan aliran air 0,66 m³/s, lebar sudu 77 cm dengan rasio 85,5% terhadap lebar sungai, lebar sungai 90 cm, dan kedalaman sungai 40 cm, menunjukkan efisiensi tertinggi terjadi pada jumlah sudu 12 buah dan memiliki daya 700 watt pada putaran 1500 rpm dan debit air 106,92 lt/s.

Pada tahun 2015, Verdi A. Koehuan, dkk. Melakukan Analisis Desain Turbin Air Tipe Aliran Silang (Crossflow) dan Aplikasinya di Desa Were I Kabupaten Ngada NTT. Hasil penelitiannya menunjukkan dengan head sebesar 15 m dan debit air 230 liter/s, dengan diameter runner 15 cm, lebar runner 15 cm, debit air 0,1271 m³/s mendapat kecepatan spesifik 47,931 rpm dan efisiensi turbin diperoleh 88,74 % serta daya efektif sebesar 16,466 kW, diameter runner 20 cm, lebar runner 20 cm, debit air 0,1681 m³/s mendapat kecepatan spesifik 55,346 rpm dan efisiensi turbin diperoleh 88,74 % serta daya efektif sebesar 21,954 kW. Hasil dari penelitian menunjukkan kenaikan debit aliran dan daya efektif

juga sebesar 25%, tapi putaran dan efisiensi turbin tidak berubah.

METODE

Variabel Penelitian

Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi timbulnya variabel terikat (Sugiyono, 2011). Variabel bebas dalam penelitian ini:

- Variasi rasio 13/16, rasio 14/16, dan rasio 15/16.



Gambar 1. Turbin

Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas (Sugiyono, 2011). Variasi terikat dalam penelitian ini adalah Daya dan efisiensi yang dihasilkan turbin reaksi.

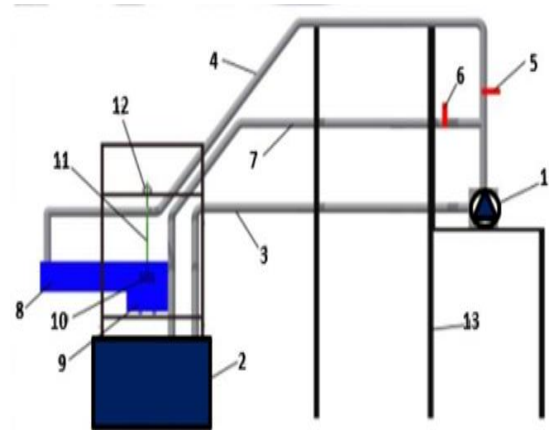
Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang dikendalikan atau dibuat konstan agar pengaruh variabel bebas ke variabel terikat tidak dipengaruhi oleh faktor-faktor lain. Dalam penelitian ini variabel yang di kontrol meliputi:

- *Fluida* kerja adalah air.
- Kapasitas atau debit aliran air selama pengujian.
- Kapasitas air yang digunakan sebesar 12.58 L/s, 11.01 L/s, dan 8.88 L/s,.
- Buka katup disesuaikan pada 130°, 140°, dan 150°.
- Pembebanan sebesar 500 g, 1000 g, 1500 g, dan 2000 g dan seterusnya hingga turbin berhenti berputar.

Peralatan dan Instrumen Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:



Gambar 2. Desain Instalasi Alat Uji

Keterangan:

1. Pompa air
2. *Reservoir* air
3. Instalasi pipa sisi *suction*
4. Saluran pipa sisi *discharge*
5. Katup utama
6. Katup *bypass*
7. Saluran *bypass*
8. Saluran *inlet*
9. Area *outlet*
10. Penempatan turbin
11. Tali pembebanan
12. Posisi *Prony brake*
13. Rangka

Teknik Pengambilan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan dalam rangka mencapai tujuan penelitian. Tujuan yang diungkapkan dalam bentuk hipotesis merupakan jawaban sementara terhadap pertanyaan penelitian. Data yang dikumpulkan ditentukan oleh variabel-variabel yang ada dalam hipotesis. Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan mengukur atau menguji obyek yang diteliti dan mencatat hasil tersebut.

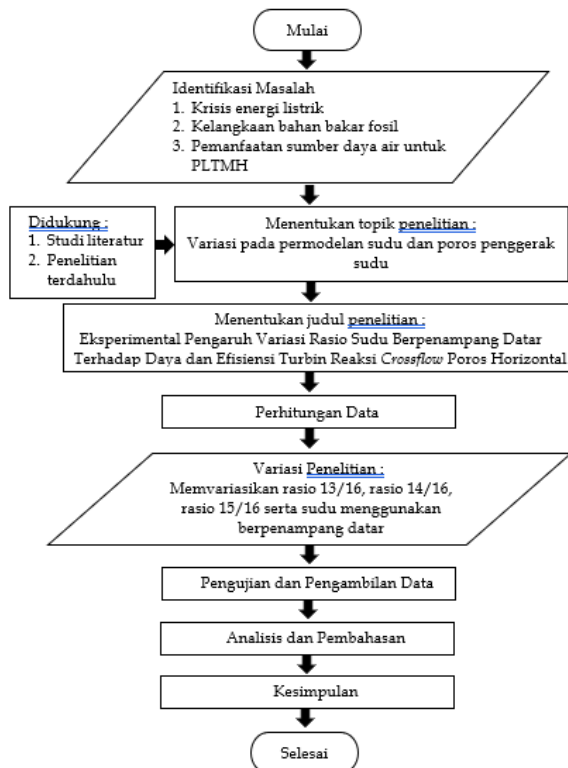
Teknik Analisa Data

Analisa data adalah suatu metode atau cara untuk mengolah sebuah data menjadi informasi sehingga dapat dipahami yang nantinya bisa dipergunakan untuk mengambil sebuah kesempatan dan menemukan solusi. Pada eksperimen teknik analisa data yang digunakan adalah dengan menggunakan metode analisis data kualitatif deskriptif. (Lexy, 2008:6) menjelaskan bahwa penelitian deskriptif adalah penelitian yang menggambarkan dan melukiskan keadaan obyek penelitian berdasarkan fakta-fakta pada saat pengujian.

Pada penelitian ini dilakukan pengambilan data dengan alat ukur, maka hasil dari pengukuran dimasukkan ke dalam tabel, dihitung secara teoritis dan kemudian disajikan dalam bentuk grafik agar lebih dapat memahami. Hal ini dilaksanakan untuk memberi informasi mengenai kinerja alat yang paling optimal,

hubungan antara variabel-variabel dan fenomena-fenomena apa saja yang terjadi selama pengujian dilakukan.

Flowchart Penelitian



Gambar 3. Flowchart penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Pada bab ini akan membahas dan menyajikan hasil penelitian dari pengaruh variasi rasio pada turbin dengan sudu berpenampang datar terhadap daya dan efisiensi turbin reaksi aliran *crossflow*. Data diperoleh dari proses pengujian kemudian dicatat yang berupa angka pada tabel yang telah dibuat untuk mendapatkan dan mengetahui hasil performa turbin dari tiap variasi. Hasil penelitian akan disajikan berupa grafik dan tabel.

Variasi rasio 13/16, rasio 14/16, dan rasio 15/16. Dengan pembebanan sebesar 500 g, 1000 g, 1500 g, 2000 g, sampai turbin berhenti berputar dan variasi kapasitas air yang di gunakan sebesar 8,88 L/s, 11,01 L/s, dan 12,58 L/s.

Nilai yang diperoleh dari pengujian berupa beban pada neraca, putaran poros, dan tinggi yang kemudian diolah untuk mendapatkan nilai daya air, torsi, daya turbin, dan efisiensi turbin. Untuk variasi pembebanan yang dilakukan tiap kapasitas air dilakukan dengan menambahkan kelipatan 500 g hingga turbin berhenti. Ada beberapa proses perhitungan untuk memperoleh hasil data, yaitu:

- Menghitung Kapasitas Air (Q)

Daya air dapat dihitung dengan mempergunakan persamaan:

$$Q = Cd \cdot \frac{8}{15} \cdot \sqrt{2g} \cdot tg \frac{\theta}{2} \cdot H^{\frac{5}{2}} \quad (\text{Fox et al, 2012:648})$$

Keterangan:

Q = Kapasitas air (m³/s)
 Cd = Coefficient of Discharge
 Θ = Sudut pada V-notch weir (°)
 g = Gravitasi (9,81 m/s²)
 H = Tinggi ambang (m)

- Menghitung Luas Penampang Aliran (A)

Luas penampang dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$A = t \cdot l \quad (\text{Khurmi, R.S., J.K.Gupta, 2005:10})$$

Keterangan:

A = Luas penampang saluran (m²)
 T = Tinggi ambang pada ujung keluaran pengarah (m)
 l = Lebar keluaran pengarah (m)

- Menghitung Kecepatan Aliran (V)

Kecepatan Aliran dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$V = \frac{Q}{A} \quad (\text{Khurmi, R.S., J.K.Gupta, 2005:10})$$

Keterangan:

V = Kecepatan Aliran (m/s)
 Q = Kapasitas Aliran (m³/s)
 A = Luas Penampang saluran (m²)

- Menghitung Daya Air yang Mengalir (Pa)

Daya air dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Pa = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V^3 \quad (\text{Fox et al., 2012:504})$$

Keterangan:

Pa = Daya air (Watt)
 ρ = Massa jenis Fluida (kg/m³)
 A = Luas penampang saluran (m²)
 V = Kecepatan Aliran (m³/s³)

- Menghitung Torsi Turbin (T)

Torsi pada turbin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$T = F \cdot r \quad (\text{Khurmi, R.S., J.K.Gupta, 2005:10})$$

$$F = (m_{\text{beban}} - m_{\text{neraca}}) \cdot g \quad (\text{Khurmi, R.S., J.K.Gupta, 2005:10})$$

Keterangan:

T = Torsi (N.m)
 F = Gaya (N)
 r = Jari-jari poros putaran
 m_{beban} = Masa Beban (kg)
 m_{neraca} = Massa pada neraca (kg)
 g = Gravitasi (9,81 m/s²)

- Menghitung Kecepatan Anguler Turbin

Kecepatan anguler turbin dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times n}{60} \quad (\text{Khurmi, R.S., J.K.Gupta, 2005:10})$$

Keterangan:

ω = Kecepatan anguler turbin (rad/s)
 n = Putaran (rpm)

- Menghitung Daya Turbin (P_t)

Daya turbin dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$P_t = T \cdot \omega \quad (\text{Pritchard, P.J, 2011:504})$$

Keterangan:

P_t = Daya turbin (Watt)

T = Torsi (N.m)

ω = Kecepatan angular (rad/s)

- Menghitung Efisiensi Turbin (η)

Efisiensi turbin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\eta = \frac{P_t}{P_a} \cdot 100\% \quad (\text{Pritchard, P.J, 2011: 505})$$

Keterangan:

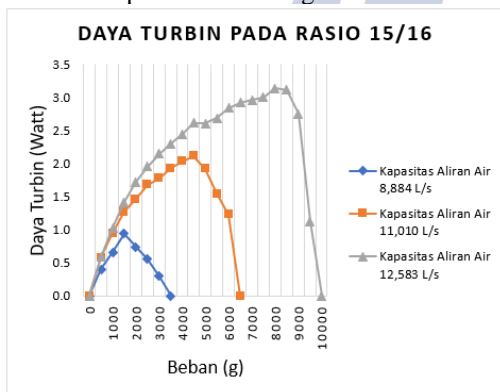
η = Efisiensi turbin

P_t = Daya turbin (Watt)

P_a = Daya air (Watt)

Pembahasan

Pengaruh Variasi Kapasitas Air Terhadap Daya dan Efisiensi Turbin pada Turbin dengan Rasio 15/16

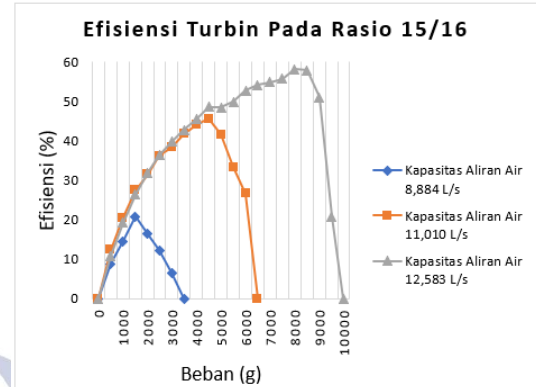


Gambar 4. Grafik Daya Turbin dengan Rasio 15/16

Berdasarkan gambar 4, turbin dengan rasio 15/16 menghasilkan daya yang semakin meningkat sebanding dengan bertambahnya kapasitas aliran air yang mengalir. Seperti yang terlihat pada gambar 4, bahwa kapasitas aliran air 8,884 L/s mengalami peningkatan pembebanan 1500 gram dengan daya yang dihasilkan turbin sebesar 0,945 Watt, lalu mengalami penurunan daya hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 3500 gram. Daya turbin dengan kapasitas aliran air 11,010 L/s mengalami peningkatan pada pembebanan 4500 gram dengan daya yang dihasilkan sebesar 2,113 Watt, lalu daya yang dihasilkan berangsur – angsur menurun hingga berhenti pada pembebanan 6500 gram. Daya turbin dengan kapasitas aliran air 12,583 L/s mengalami peningkatan hingga pembebanan 8000 gram dengan daya yang dihasilkan sebesar 3,136 Watt, lalu daya yang dihasilkan mengalami penurunan dan berhenti pada pebebanan 10000 gram.

Dari gambar 4 dapat disimpulkan bahwa kapasitas aliran air 12,583 L/s pada pembebanan 8000 gram memiliki nilai daya tertinggi yaitu 3,136 Watt. Hal ini disebabkan meningkatnya kapasitas aliran yang

diberikan, sehingga gaya dorong yang diberikan sanggup membuat turbin berputar meski pembebanan semakin meningkat, namun pada titik tertentu terjadi penurunan nilai daya yang dihasilkan disebabkan semakin besarnya pembebanan yang diberikan sehingga perlu adanya gaya lebih besar untuk memutar turbin.

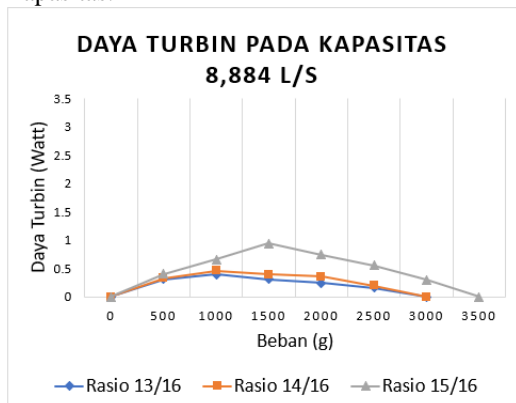


Gambar 5. Grafik Efisiensi Turbin dengan Rasio 15/16

Berdasarkan gambar 5, turbin dengan rasio 15/16 menghasilkan efisiensi yang semakin meningkat sebanding dengan bertambahnya kapasitas aliran air yang mengalir. Seperti yang terlihat pada gambar 5, bahwa kapasitas aliran air 8,884 L/s mengalami peningkatan pembebanan 1500 gram dengan efisiensi yang dihasilkan turbin sebesar 20,87%, lalu mengalami penurunan efisiensi hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 3500 gram. Efisiensi turbin dengan kapasitas aliran air 11,010 L/s mengalami peningkatan pada pembebanan 4500 gram dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 45,60%, lalu efisiensi yang dihasilkan berangsur – angsur menurun hingga berhenti pada pembebanan 6500 gram. Efisiensi turbin dengan kapasitas aliran air 12,583 L/s mengalami peningkatan hingga pembebanan 8000 gram dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 58,21%, lalu efisiensi yang dihasilkan mengalami penurunan dan berhenti pada pebebanan 10000 gram.

Dari gambar 5 dapat disimpulkan bahwa kapasitas aliran air 12,583 L/s pada pembebanan 8000 gram memiliki nilai efisiensi tertinggi yaitu 58,21%. Hal ini disebabkan meningkatnya kapasitas aliran yang diberikan, sehingga gaya dorong yang diberikan sanggup membuat turbin berputar meski pembebanan semakin meningkat, namun pada titik tertentu terjadi penurunan nilai efisiensi yang dihasilkan disebabkan semakin besarnya pembebanan yang diberikan sehingga perlu adanya gaya lebih besar untuk memutar turbin.

- Pengaruh Variasi Rasio Lebar Turbin / Lebar Saluran Terhadap Daya Turbin Pada Tiap Kapasitas.

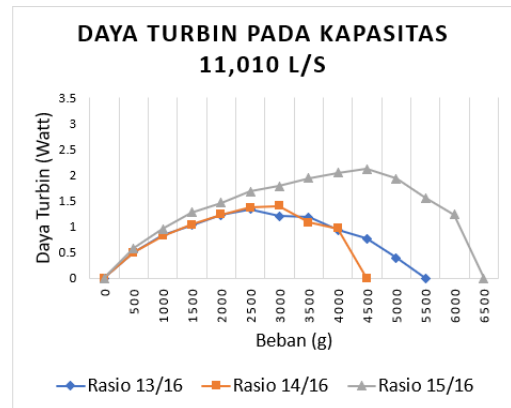


Gambar 6. Grafik Daya Turbin Pada Kapasitas 8,884 L/s

Pada gambar 6 Dapat dilihat bahwa turbin dengan rasio 15/16 mengalami peningkatan hingga pembebanan 1500 gram dan mengalami penurunan pada pembebanan 2000 gram hingga berhenti di pembebanan 3500 gram, hal ini dikarenakan pada kapasitas tersebut turbin dengan rasio 15/16 dapat menampung lebih banyak daya air sehingga dapat berputar hingga pembebanan yang tinggi, sedangkan penurunan daya turbin karena semakin besar pembebanan sehingga dibutuhkan daya yang lebih besar untuk memutar turbin.

Pada gambar 6 dapat dilihat pula grafik yang dihasilkan oleh turbin dengan rasio 13/16, rasio 14/16, dan rasio 15/16. Daya turbin dengan rasio 13/16 mengalami peningkatan hingga pembebanan 1000 gram dengan daya yang dihasilkan sebesar 0,396 Watt, lalu mengalami penurunan daya hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 3000 gram. Daya turbin dengan rasio 14/16 mengalami peningkatan pada pembebanan 1000 gram dengan daya yang dihasilkan sebesar 0,461 Watt, lalu daya yang dihasilkan berangsur – angsur menurun hingga berhenti pada pembebanan 3000 gram. Daya turbin dengan rasio 15/16 mengalami peningkatan hingga pembebanan 500 gram dengan daya yang dihasilkan sebesar 0,945 Watt, lalu daya yang dihasilkan mengalami penurunan dan berhenti pada pebebanan 3500 gram.

Dari gambar 6 tersebut dapat disimpulkan bahwa turbin dengan rasio 15/16 dan kapasitas aliran 8,884 L/s pada pembebanan 1500 gram memiliki nilai daya tertinggi yaitu 0,945 Watt. Hal ini terjadi karena kapasitas air yang meningkat akan menyebabkan putaran turbin semakin cepat sehingga daya yang dihasilkan juga semakin besar, sedangkan penurunan daya disebabkan karena peningkatan pembebanan sehingga gaya dorong yang diperlukan untuk memutar turbin menjadi semakin besar.

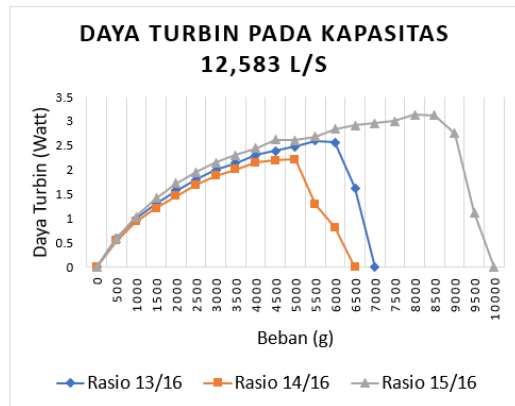


Gambar 7. Grafik Daya Turbin Pada Kapasitas 11,010 L/s

Berdasarkan gambar 7 turbin dengan rasio 15/16 mengalami peningkatan daya secara bertahap hingga pembebanan 4500 gram dan setelah itu daya turbin cenderung menurun lalu berhenti pada pembebanan 6500 gram, pada grafik diatas kapasitas yang diatur sebesar 11,010 L/s mempengaruhi daya yang dihasilkan turbin rasio 15/16. Pada kapasitas tersebut, variasi yang dilakukan terhadap rasio sudu mengalami peningkatan nilai daya turbin. Meningkatnya kapasitas aliran air cenderung meningkatkan gaya dorong guna menggerakkan turbin sehingga turbin dapat bertahan dengan pembebanan tertinggi.

Dari grafik tersebut juga dapat dilihat, daya turbin pada rasio 13/16 mengalami peningkatan nilai daya hingga pembebanan 2500 gram dengan daya turbin sebesar 1.336 Watt, setelah itu daya turbin cenderung menurun dan berhenti pada pembebanan 5500 gram. Daya turbin dengan rasio 14/16 juga mengalami peningkatan hingga pembebanan 3000 gram dengan nilai daya sebesar 1.401 Watt, setelah itu daya turbin mengalami penurunan dan berhenti berputar pada pembebanan 4500 gram. Selanjutnya, pada rasio 15/16 daya turbin mengalami peningkatan hingga pembebanan 1500 gram dengan nilai daya sebesar 2.113 Watt, setelah itu daya menurun terus – menerus dan berhenti pada pembebanan 6500 gram.

Dapat disimpulkan bahwa turbin dengan rasio 15/16 dan kapasitas aliran air 11,010 L/s pada pembebanan 4500 gram memiliki nilai daya tertinggi yaitu 2.113 Watt. Hal ini terjadi karena kapasitas aliran yang meningkat menyebabkan putaran turbin meningkat sehingga daya yang dihasilkan turbin juga semakin besar, begitupun sebaliknya, penurunan daya disebabkan karena pembebanan yang semakin besar sehingga diperlukan gaya dorong yang semakin besar pula agar turbin mampu bergerak.



Gambar 8. Grafik Daya Turbin Pada Kapasitas 12,583 L/s

Pada gambar 8 dapat dilihat bahwa turbin dengan rasio 15/16 mengalami peningkatan daya hingga puncaknya pada pembebanan 8000 gram, setelah itu daya turbin turun secara bertahap dan berhenti pada pembebanan 10000 gram. Kapasitas air yang meningkat cenderung mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh turbin *crossflow* dengan rasio 15/16. Bertambahnya kapasitas aliran berarti memperbesar gaya dorong yang diberikan untuk memutar turbin, sehingga turbin masih berputar meski pembebanan semakin berat dan nilai daya yang dihasilkan turbin semakin besar.

Dari gambar 8 juga dapat dibandingkan daya yang dihasilkan tiap variasi rasio, turbin dengan rasio 13/16 mengalami peningkatan daya hingga pembebanan 5500 gram dan daya yang dihasilkan sebesar 2,597 Watt, lalu mengalami penurunan hingga berhenti berputar pada pembebanan 7000 gram. Turbin dengan rasio 14/16 mengalami peningkatan daya pada pembebanan 5000 gram dan daya yang dihasilkan sebesar 2,212 Watt, setelah itu putaran turbin berangsur – ansur turun hingga berhenti pada pembebanan 6500 gram. Pada Turbin dengan rasio 15/16 terus mengalami peningkatan daya hingga pembebanan 8000 dan daya yang dihasilkan sebesar 3,136 Watt, lalu mengalami penurunan dan berhenti pada pembebanan 10000 gram.

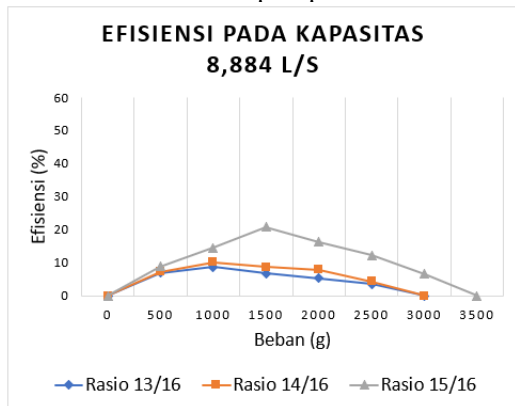
Dari gambar diatas dapat disimpulkan bahwa turbin dengan rasio 15/16 pada kapasitas aliran 12,583 L/s dan pembebanan 8000 gram memiliki nilai daya tertinggi, yaitu 3,136 Watt. Hal ini disebabkan meningkatnya kapasitas aliran yang diberikan, sehingga gaya dorong yang diberikan sanggup membuat turbin berputar meski pembebanan semakin meningkat, namun pada titik tertentu terjadi penurunan nilai daya yang dihasilkan disebabkan semakin besarnya pembebanan yang diberikan sehingga perlu adanya gaya lebih besar untuk memutar turbin.

Berdasarkan gambar 6, gambar 7, dan gambar 8 dapat dilihat bahwa dengan memvariasikan rasio pada turbin reaksi *crossflow* poros horizontal memiliki karakteristik yang berbeda – beda. Pada gambar (6) dengan diberikan kapaitas aliran 8,884 L/s, variasi rasio tidak menghasilkan daya yang begitu besar namun daya yang dihasilkan turbin cenderung

mengalami peningkatan. Hal ini terjadi karena pada kapasitas tersebut turbin tidak terendam dan luasan area penampang aliran tidak sepenuhnya mengenai luasan sudu turbin, sehingga gaya dorong yang dimiliki aliran tidak sepenuhnya mampu mendorong turbin agar berputar dan menghasilkan daya yang tinggi. Seiring penambahan kapasitas aliran yang diatur dengan membuka katup saluran balik pada skema pompa terlihat pada gambar (7) pada kapasitas aliran 11,010 L/s bahwa daya yang dihasilkan turbin mengalami peningkatan daripada kapasitas aliran sebelumnya, variasi yang diberikan pada rasio juga cenderung mengalami peningkatan terhadap nilai daya yang dihasilkan turbin. Kenaikan daya yang dihasilkan turbin juga terus terjadi pada gambar (8) pada kapasitas aliran 12,583 L/s penambahan kapasitas menyebabkan luas penampang aliran semakin tinggi sehingga turbin terendam hingga setengah dari diameter turbin. Variasi yang dilakukan pada rasio juga mengalami peningkatan daya di kapasitas aliran ini, bahkan pembebanan yang diberikan agar turbin berhenti hingga mencapai 10000 gram. Hal ini disebabkan karena pada kapasitas 12,583 L/s luas penampang alirannya lebih tinggi dan merendam separuh turbin sehingga gaya dorong yang dimiliki aliran mampu dirubah dengan maksimal oleh turbin menjadi daya.

Dari analisis yang dapat disimpulkan bahwa variasi rasio 15/16 pada turbin reaksi *crossflow* memiliki daya yang paling tinggi, dilanjutkan dengan variasi rasio sudu 13/16 dan daya terendah dihasilkan oleh variasi rasio 14/16. Pada kapasitas 12,583 L/s turbin yang mampu menghasilkan daya tertinggi adalah turbin yang memiliki rasio paling lebar, terbukti seperti yang ditunjukkan oleh gambar bahwa pada kapasitas ini turbin yang bisa memanfaatkan aliran air dengan sempurna dan menghasilkan daya paling tinggi adalah turbin yang memiliki rasio 15/16 dengan daya sebesar 3,136 Watt pada pembebanan 8000 gram, karena aliran air yang menerpa sudu dapat diubah dengan baik dan dapat menampung lebih banyak air sehingga aliran air yang menerpa sudu bisa dimanfaatkan dengan optimal untuk memutar turbin dan dapat menghasilkan rpm dan torsi yang lebih tinggi dan tahan terhadap pembebanan tinggi. Tetapi tidak untuk rasio 14/16, turbin ini memiliki daya turbin yang lebih rendah jika dibandingkan dengan semua jenis turbin, karena aliran air yang menerpa turbin itu sendiri mengalir pada celah bilah sudu dan mengenai sudu turbin lainnya.

- Rasio Lebar Turbin / Lebar Saluran Terhadap Efisiensi Turbin Pada Tiap Kapasitas.

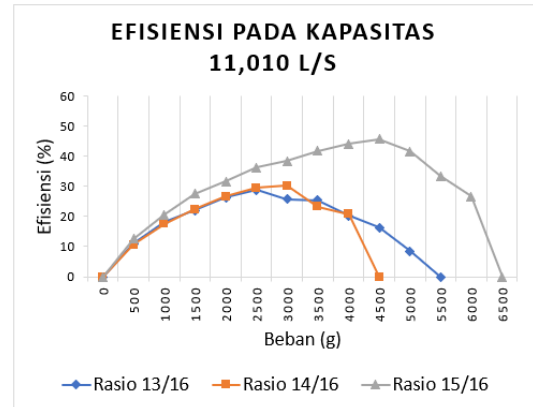


Gambar 9. Grafik Efisiensi Turbin Pada Kapasitas 8,884 L/s

Berdasarkan gambar 9 dapat diketahui bahwa turbin dengan rasio 15/16 mengalami kenaikan nilai efisiensi hingga pembebanan 1500 gram, setelah itu nilai efisiensi menurun hingga putaran berhenti dipembebanan 3500 gram. Hal ini dikarenakan nilai efisiensi berhubungan dengan nilai daya dan torsi yang dihasilkan oleh turbin. Apabila daya turbin mengalami penurunan maka efisiensi turbin juga akan menurun.

Dari gambar diatas juga dapat dibandingkan bahwa turbin dengan rasio 13/16 mengalami peningkatan efisiensi hingga pembebanan 1000 gram dengan nilai efisiensi sebesar 8,73%, setelah itu efisiensi turbin menurun hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 3000 gram. Turbin dengan rasio 14/16 mengalami peningkatan nilai efisiensi hingga pembebanan 1000 gram dengan nilai efisiensi sebesar 10,17% setelah itu nilai efisiensi turbin menurun hingga berhenti pada pembebanan 3000 gram. Turbin dengan rasio 15/16 efisiensi turbin terus meningkat hingga pembebanan 1500 gram dengan nilai efisiensi sebesar 20,87%, lalu turbin berhenti pada pembebanan 3500 gram.

Dari gambar 9 dapat disimpulkan bahwa turbin dengan rasio 15/16 memiliki nilai efisiensi tertinggi dengan kapasitas aliran 8,884 L/s dengan nilai efisiensi sebesar 20,87% pada pembebanan 1500 gram. Hal ini berbanding lurus dengan daya yang dihasilkan turbin, karena dalam mencari nilai efisiensi daya turbin dikalikan dengan daya air lalu dikali 100 persen. Dari rumusan itu juga dapat dilihat bahwa kapasitas aliran mempengaruhi peningkatan daya yang dihasilkan turbin karena adanya putaran dan torsi yang meningkat.

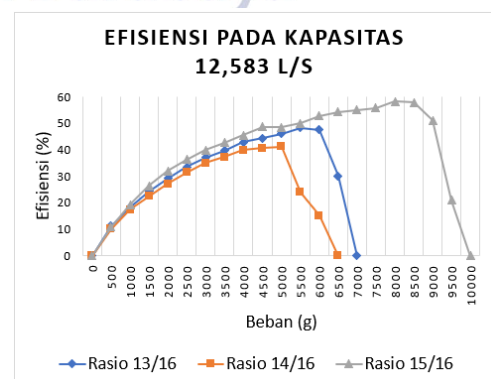


Gambar 10. Grafik Efisiensi Turbin Pada Kapasitas 11,010 L/s

Berdasarkan pada gambar 10 dapat dilihat bahwa nilai efisiensi turbin dengan rasio 15/16 mengalami peningkatan dibanding kapasitas sebelumnya, nilai efisiensi dari variasi rasio 15/16 terus meningkat hingga pembebanan 4500 gram. Hal ini disebabkan karena kapasitas aliran yang diatur lebih besar dengan nilai sebesar 11,010 L/s sehingga daya meningkat dan efisiensinya juga ikut meningkat.

Dari gambar diatas juga dapat diketahui bahwa turbin dengan rasio 13/16 terus mengalami peningkatan nilai efisiensi hingga pembebanan 3000 gram, nilai efisiensi yang dihasilkan turbin sebesar 25,79%, setelah itu berangsur – angsur daya turbin mengalami penurunan hingga berhenti pada pembebanan 3000 gram. Pada turbin dengan rasio 14/16, nilai efisiensi sebesar 30,22%, nilai efisiensi setelah itu berangsur – angsur menurun hingga turbin berhenti pada pembebanan 5500 gram. Selanjutnya pada turbin dengan rasio 15/16 nilai efisiensi turbin juga terus mengalami peningkatan hingga pembebanan 4500 gram dengan nilai efisiensi sebesar 45,60%, setelah itu nilai efisiensi juga menurun hingga turbin berhenti pada pembebanan 6500 gram.

Dari gambar 10 dapat disimpulkan bahwa rasio 15/16 pada turbin dan kapasitas aliran sebesar 11,010 L/s memiliki nilai efisiensi tertinggi dengan nilai 45,60% pada pembebanan 4500 gram, hal ini berbanding lurus dengan daya yang dihasilkan turbin karena nilai efisiensi berasal dari perhitungan daya turbin dibagi dengan daya air lalu dikali 100 persen.



Gambar 11. Grafik Efisiensi Turbin Pada Kapasitas 12,583 L/s

Berdasarkan pada gambar 11 dapat dilihat bahwa nilai efisiensi turbin dengan rasio 15/16 mengalami peningkatan dibanding kapasitas sebelumnya, nilai efisiensi dari variasi rasio 15/16 terus meningkat hingga pembebanan 8000 gram. Hal ini disebabkan karena kapasitas aliran yang diatur lebih besar dengan nilai sebesar 12,583 L/s sehingga daya dan efisiensinya juga ikut meningkat.

Berdasarkan pada gambar 11 pula dapat dibandingkan bahwa turbin dengan variasi rasio 13/16 terus mengalami peningkatan nilai efisiensi hingga pembebanan 5500 gram dan nilai efisiensi sebesar 48,22%, setelah itu nilai efisiensi mengalami penurunan hingga berhenti pada pembebanan 7000 gram. Turbin dengan rasio 14/16 juga mengalami peningkatan nilai efisiensi hingga pembebanan 5000 gram dan nilai efisiensi sebesar 41,07%, setelah itu berangsur – angsur nilai efisiensi turbin ini turun hingga berhenti berputar pada pembebanan 6500 gram. Terakhir adalah rasio 15/16 yang mengalami peningkatan nilai efisiensi hingga pembebanan 8000 gram dengan nilai efisiensi sebesar 58,21%, lalu nilai efisiensi turbin juga turun hingga berhenti pada pembebanan 10000 gram.

Dari grafik tersebut disimpulkan bahwa rasio 15/16 dan kapasitas 12,583 L/s memiliki nilai efisiensi tertinggi pada pembebanan 8000 gram dengan nilai efisiensi 58,21%. Hal ini berbanding lurus dengan daya yang dihasilkan turbin pada kapasitas aliran yang sama karena pada dasarnya nilai efisiensi dihasilkan dari daya air dibagi dengan daya turbin lalu dikali dengan 100 persen.

Berdasarkan gambar 9, gambar 10, dan gambar 11 dapat dilihat bahwa dengan memvariasikan rasio pada turbin reaksi *crossflow* poros horizontal memiliki karakteristik yang berbeda – beda. Nilai efisiensi meningkat karena adanya peningkatan pembebanan yang dilakukan saat pengujian, pembebanan menyebabkan torsi pada turbin semakin besar. Namun perlu diperhatikan saat pembebanan semakin besar maka gaya akan semakin besar hingga dapat menghentikan putaran turbin, saat turbin berhenti tidak dapat menghasilkan daya dan efisiensi.

Pada gambar (9) dengan mengatur kapasitas aliran 8,884 L/s, rasio tidak menghasilkan nilai efisiensi yang begitu besar namun efisiensi yang dihasilkan turbin cenderung mengalami peningkatan. Hal ini terjadi karena pada kapasitas tersebut turbin tidak terendam dan luasan area penampang aliran tidak sepenuhnya mengenai luasan sudu turbin, sehingga gaya dorong yang dimiliki aliran tidak sepenuhnya mampu mendorong turbin agar berputar dan menghasilkan daya yang tinggi. Seiring penambahan kapasitas aliran yang diatur dengan membuka katup saluran balik pada skema pompa terlihat pada gambar (10) bahwa efisiensi yang dihasilkan turbin mengalami peningkatan daripada kapasitas aliran sebelumnya, variasi yang diberikan pada rasio juga cenderung mengalami peningkatan terhadap nilai efisiensi yang dihasilkan turbin. Kenaikan nilai efisiensi yang dihasilkan turbin juga terus terjadi pada

gambar (11), penambahan kapasitas menyebabkan luas penampang aliran semakin tinggi sehingga turbin terendam hingga hampir separuh dari diameter turbin. Variasi yang dilakukan pada rasio juga mengalami peningkatan nilai efisiensi di kapasitas ini, bahkan pembebanan yang diberikan agar putaran turbin berhenti mencapai 8000 gram. Hal ini disebabkan karena kapasitas 12,583 L/s luas penampang alirannya lebih tinggi dan merendam separuh turbin sehingga gaya dorong yang dimiliki aliran mampu dirubah dengan maksimal oleh turbin menjadi daya dan efisiensipun makin meningkat.

Dari analisis yang diberikan diatas dapat disimpulkan bahwa rasio 15/16 pada turbin reaksi *crossflow* memiliki nilai efisiensi yang paling tinggi, dilanjutkan dengan rasio 13/16 dan efisiensi terendah dihasilkan oleh rasio 14/16. Ketika kapasitas aliran 8,884 L/s rasio 15/16 memiliki nilai efisiensi yang tinggi dibanding dengan rasio yang lain, saat kapasitas air ditingkatkan menjadi 11,010 L/s rasio 15/16 masih tetap memiliki karakteristik efisiensi tertinggi dengan nilai efisiensi 45,60% lalu diikuti rasio 14/16. Pada 12,583 L/s kapasitas aliran tersebut dengan semakin lebar rasio maka rata- rata efisiensi yang dihasilkan cenderung naik sampai dimana titik paling maksimal dan setelah itu efisiensi turun. Turbin dengan rasio 15/16 menghasilkan karakteristik nilai efisiensi paling tinggi yaitu 58,21%, dan turbin dengan rasio sudu 14/16 menghasilkan karakteristik efisiensi paling rendah dengan nilai 41,07%. Hal ini dikarenakan semakin banyak kapasitas aliran dan semakin lebar rasio turbin berpengaruh terhadap nilai dari daya dan efisiensi turbin, sedangkan penurunan daya pada turbin diakibatkan oleh pembebanan yang semakin meningkat sehingga turbin memerlukan gaya yang lebih besar untuk menggerakkan turbin.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan tentang pengaruh variasi rasio sudu berpenampang datar terhadap daya dan efisiensi turbin reaksi *crossflow* poros horizontal, maka dapat ditarik simpulan sebagai berikut:

- Daya optimum dihasilkan dari pengujian turbin dengan dengan rasio turbin 15/16, yaitu sebesar 3,316 Watt dengan pembebanan 8000 gram pada kapasitas 12,583 L/s.
- Efisiensi yang paling optimum dihasilkan dari turbin rasio 15/16 yaitu sebesar 58,21% dengan pembebanan 8000 gram pada kapasitas 12,583 L/s.

Saran

Setelah dilakukan penelitian, pengujian, pembahasan, analisis pengaruh variasi rasio sudu berpenampang datar terhadap daya dan efisiensi turbin reaksi *crossflow* poros horizontal, maka dapat diberikan saran yaitu perlu adanya penelitian lanjutan diameter luar dan diameter dalam turbin.

DAFTAR PUSTAKA

- Arikunto. 2006. *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktek*. Jakarta : PT. Rineka Cipta.
- Arismunandar, Kuwahara S. 1974. *Pembangkitan dengan Tenaga Air, Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik, Jilid 1*. Jakarta (ID) : Pradnya Paramita.
- Bachtiar, A. N. (2009, Juli 21). *Karakteristik Turbin Crossflow*. Retrieved from aseppadang:(<https://aseppadang.wordpress.com/2009/06/21/karakteristik-turbin-crossflow/>), Diakses pada tanggal 25 Februari 2019)
- BPS. (2016). *Neraca Energi Indonesia*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- BPS. (2017). *Neraca Energi Indonesia*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Energy, E. (2013, 11 16). *Pembangkit Listrik Tenaga Microhydro*. Retrieved from Ezkhel Energy blogspot : (<https://ezkhelenergy.blogspot.com/2013/11/pembangkit-listrik-tenaga-microhydro.html>), diakses pada tanggal 15 Februari 2019).
- Haimerl, L.A. 1960. "The Cross Flow Turbine". Jerman Barat.
- Khurmi, R S., J.K. Gupta. 2005. *Machine Design*. New Delhi: Eurasia Publishing House.
- Koehua, V. A., & Sampealo, A. (2015). Analisis Desain Turbin Air Tipe Aliran Silang (Crossflow) dan Aplikasinya di Desa Were I Kabupaten Ngada NTT. *Jurnal Teknik Mesin Undana*, Vol. 02 (1).
- Kosjoko. (2015). *Cros Flow as Turbine Power Plant Minihidro (PLTM) Village to Self Energy*. INFO TEKNIK, Vol. 16 (2) : 159-170.
- Lexy, J Moleong. (2008). *Metodologi Penelitian Kualitatif*. Bandung: PT Remaja Rosdakarya.
- Meier, Ueli S. 1981. *Local Experience With Micro Hydro Technology*. St Gall. London.
- Munson, Bruce, R., Young, Donald, F., Okiishi, Theodore, H., 2006. "Fundamental of Fluid Mechanics Fifth Edition". Jhon Wiley & Sonc Inc.
- Padang, Y. A., Okariawan, I. I., & Wati, M. (2014). Analisis Variasi Jumlah Sudu Beregsel Terhadap Unjuk Kerja Turbin Cross Flow Zero Head. *Dinamika Teknik Mesin*, Volume 4 (1).
- Pramesti, Y. S. (2018). Analisa pengaruh sudut sudu terhadap kinerja turbin kinetik. *Jurnal Mesin Nusantara*, Vol. 1 (1): Hal. 51-59.
- Pritchard, Philip J., Leylegian, Jhon C. 2011. *Introduction to Fluid Mechanics Eighth Edition*. Danver: Jhon Wiley & Sonc Inc.
- Rohermanto, A. (2007). *Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)*. *Jurnal Pembangkit Listrik*, Vol.4 (1) : 28-36.
- Sugiyono. 2012. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif Dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Tim. 2014. *Pedoman Penulisan Skripsi*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Waisnawa S. 2012. Pemilihan Jenis Turbin pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). *Jurnal Matrix*. 3(2) : 176-182.